Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, Summer 2024, p. 263-279

Effect of Different Growth Medium on Soil Properties and Physiological Traits of Hollyhocks (*Alcea rosea* L.) under Drought Stress

T. Oraee[1], M. Shoor[2*], A. Tehranifar[3], S.H. Nemati[4], A. Oraee[5]

1, 2, 3, 4 and 5- Ph.D., Associate Professor, Professor, Assistant Professor and Postdoc, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shoor@um.ac.ir)

Received:	12-07-2021	**How to cite this article:** Oraee, T., Shoor, M., Tehranifar, A., Nemati, S.H., & Oraee, A. (2024). Effect of different growth medium on soil properties and physiological traits of hollyhocks (*Alcea rosea* L.) under drought stress. *Journal of Horticultural Science, 38*(2), 263-279. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.71383.1073
Revised:	30-10-2021	
Accepted:	08-11-2021	
Available Online:	08-11-2021	

Introduction

Climate change predictions indicate that drought and extreme heatwaves will become more frequent and extreme in many regions. Drought is the main abiotic stress that severely reduces plant yield across the globe. Thus, this may have negative consequences for the agricultural soils, as it limits the availability of water and nutrients to soil microorganisms and plants that develop on these soils. To cope with this situation, the use of organic amendments is the best option. Recent studies have shown that the application of organic fertilizers can affect soil moisture and thus, mitigate the negative effect of climate change on that parameter. Organic amendments increase soil organic matter content thus improving soil physical, chemical, and biological properties, and therefore, can confer drought resistance to soils. The application of organic residues has been presented as a great strategy against soil degradation in semiarid environments. However, the interactions between organic amendments and drought in hollyhock plants are not fully known. Here, we evaluate whether the organic amendment influences the physiological traits of hollyhocks and soil properties under drought conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the research field at Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The experiment consisted of three factors (cultivars, organic amendments, and drought) with organic amendments and drought having four and three levels, respectively. Drought treatments were controlled by a TDR at 80, 60, and 40% FC. The three sources of organic amendments were used cow manure, rice hull and wheat straw. Seeds were planted in cocopeat, perlite, and peat mixture trays in the greenhouse with an average temperature of 20 °C and under a photoperiod of 14 hours of light and 10 hours of darkness with a light intensity of 400 μmol^{-1} m^2. In the 5-6 leaf stage, seedlings were transferred in pots (18 cm high and 8 cm in diameter) containing field soil. The plants were transferred to the field with four different substrates (field soil, field soil + manure, field soil + rice hull, and field soil + wheat straw) and were exposed to drought stress for one month during the flowering stage. This analysis examined both the physical and chemical properties of the soil, including changes in the macroelements nitrogen, phosphorus, and potassium.

Results and Discussion

Soil nitrogen changes were significantly affected by the interactions of ecotype with drought, ecotype with the medium, and drought stress with medium. The highest nitrogen changes were recorded in Mashhad ecotype under 80% FC. Nitrogen content in amended soil had an increasing trend during the experiment, but the amount of nitrogen had a decreasing trend in soil. In all media under stress, the amount of soil phosphorus was increased and the highest

https://doi.org/ 10.22067/jhs.2021.71383.1073

amount of phosphorus was observed in soil + manure at all irrigation regimes. The highest amount of potassium in both ecotypes was observed in soil + manure. The amount of potassium in amended soils under stress significantly increased, but in all organic amendments with increasing drought stress from 80 to 40% FC, the potassium content decreased. In both ecotypes, soil salinity was increased in all culture media. Han *et al*. (2016) stated that the amount of nitrogen, phosphorus, and potassium in the amended soil was higher than the substrates containing chemical fertilizer. The medium EC was alkaline at the end of the experiment and the salinity of the culture medium increased compared to the control. This study revealed a negative correlation between electrolyte leakage and dry weight in hollyhock plants. Furthermore, all measured physiological and growth parameters were significantly affected by the treatments. Notably, the Mashhad ecotype grown in soil supplemented with animal manure at 80% field capacity (FC) exhibited the highest levels of physiological traits (SPAD and relative water content) and growth index (dry weight).The application of manure + soil by providing macro elements reduces the negative effects of drought stress.

Conclusion

The type of crops grown in arid and semi-arid regions should be reconsidered. Also, some plants with high water requirements should be replaced with plants with low and unexpected water requirements. Because hollyhocks are low-expected plants that grow well in drought areas, so they can be considered as suitable species for cultivation in low-input systems and can tolerate drought situations by 40% FC in amended soil.

Keywords: Nutrients, Organic matter, Ornamental Hollyhock, Stress

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، ص. ۲۷۹-۲٦۳

اثر بسترهای مختلف بر ویژگی‌های خاک و صفات فیزیولوژیکی گیاهان ختمی (*Aleca rosea* L.) تحت تنش خشکی

تکتم اورعی[۱]- محمود شور[۲*]- علی تهرانی فر[۳]- سیدحسین نعمتی[٤]- عطیه اورعی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

چکیده

کاربرد مواد آلی به‌عنوان یک استراتژی مناسب به‌منظور کاهش تخریب خاک در آب‌وهوای خشک و نیمه خشک ارائه شده است. به‌منظور بررسی اثر آبیاری و بسترهای کشت بر رشد دو اکوتیپ ختمی زینتی، آزمایشی در شرایط مزرعه تعریف شد. تیمارهای آزمایش شامل دو اکوتیپ (مشهد و تهران)، سه سطح رطوبتی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و چهار بستر کشت (خاک، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک برنج، خاک + کاه و کلش گندم) بودند. عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، هدایت الکتریکی، pH خاک و صفات فیزیولوژیکی گیاه (نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب، پرولین، کربوهیدرات) و وزن خشک اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش نشان داد که اثرات سه‌گانه اکوتیپ× تنش خشکی × بسترهای کشت بر تغییرات میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک مزرعه در پایان آزمایش معنی‌دار نشد، امّا بیشترین تغییرات این عناصر در بستر خاک + کود حیوانی مشاهده شد و همچنین، این تغییرات در خاک حاوی اکوتیپ مشهد بیشتر بود. میزان شوری بستر خاک + کود حیوانی در هر دو اکوتیپ نسبت به بستر خاک، ۷۸ درصد افزایش یافت. از طرفی، تغییرات اسیدیته خاک در سطح آبیاری ۴۰ درصد نسبت به شاهد کمتر بود و این تغییرات در بستر خاکی ۶۰ درصد کاهش یافت. تمامی پارامترهای فیزیولوژیکی و رشدی گیاهان ختمی تحت تیمارهای آزمایش قرار گرفت و بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۶۸)، محتوای نسبی آب (۷۲ درصد) و وزن خشک (۹۵ گرم) در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در بستر خاک + کود حیوانی و بیشترین کربوهیدرات (۸۲ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در بستر خاک + کود حیوانی به ثبت رسید. بدین منظور، کاربرد کود حیوانی همراه با خاک با فراهم نمودن عناصر ماکرو اثرات منفی تنش خشکی را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ختمی زینتی، عناصر غذایی، کم‌آبیاری، مواد آلی

مقدمه

امروزه به‌دلیل روند روزافزون رشد جمعیت شهری، پایداری در فضای سبز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تشدید تنش‌های محیطی زمینه‌ساز از بین رفتن گیاهان زینتی است، لذا ارائه گیاهان باکیفیت و مقاوم در برابر تنش‌های زیستی، جهت استقرار مناسب در فضای سبز یکی از اهداف مهم تولیدکنندگان و اصلاح‌کنندگان گیاهی می‌باشد. در بین گیاهان زینتی، گل ختمی[۶] با نام عمومی Hollyhock، از خانواده پنیرک‌سانان به‌عنوان گیاهی چندساله شناخته می‌شود. علاوه‌بر جنبه زینتی در فضای سبز (Pakravan & Ghahreman, 2003)، به‌دلیل حضور رنگ‌دانه‌ها و به‌منظور تولید مواد رنگی بسیار مورد توجه است. از گل‌های این گیاه به‌منظور تولید چای دارویی استفاده می‌شود. از طرفی، خاصیت‌های ضدباکتریایی (Ahmed *et al.*, 2016)، آنتی‌اکسیدانی (Hussain *et al.*, 2014)، ضدافسردگی، دهان‌شویه، توقف خستگی، بهبود جریان خون (Burt & Reinders, 2003) این گیاه به اثبات رسیده است. با توجه به شرایط آب‌وهوایی مشهد و مقاومت این گیاه به

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به‌ترتیب دکتری، دانشیار، استاد، استادیار و پسا دکتری، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسندهٔ مسئول: (Email: shoor@um.ac.ir

https://doi.org/ 10.22067/jhs.2021.71383.1073

6- *Alcea rosea* L.

شرایط شوری (Asghari, 2014)، در فضای سبز گیاه مطلوبی می‌تواند باشد.

در بین فاکتورهای محیطی، خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد در بسیاری از مناطق مورد توجه است. دانشمندان پیش‌بینی کرده‌اند که تا پایان قرن اخیر افزایش دمای کره زمین به میزان سه تا نه درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش خشکی زمین‌های قابل کشت خواهد شد (Wang *et al.*, 2003).

در کشاورزی برای افزایش قدرت حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد گیاهان، عناصر موردنیاز به‌صورت مواد آلی و با روش‌های مختلف در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد. کودهای آلی، عناصر غذایی ضروری موردنیاز گیاه را به‌طور متعادل در خاک تأمین می‌کنند (Shaji *et al.*, 2021). این مواد آلی، دارای مزایایی می‌باشد، از جمله اینکه آب شویی و هدرروی عناصر غذایی را کاهش داده و به فرایند رهاسازی این عناصر کمک می‌کنند (Kirchmann, 2021)، همچنین رشد ریشه را به‌دلیل بهبود ساختمان خاک افزایش می‌دهند، مقدار ماده آلی و ظرفیت تبادلی خاک را افزایش می‌دهند (Kane *et al.*, 2021) و در نهایت، به‌عنوان منبعی برای رشد جانداران خاک بوده و افزایش عملکرد مفید خاک می‌شوند (Mahajan & Gupta, 2009).

در شرایط کمبود آب از مواد آلی می‌توان برای حفظ آب در خاک و جلوگیری از اثرات مخرب تنش خشکی به‌منظور افزایش عملکرد گیاهان استفاده نمود (Kang *et al.*, 2014). کاهش انتقال عناصر در گیاهان در شرایط تنش خشکی در خاک در برخی تحقیقات به ثبت رسیده است (Kang *et al.*, 2014; Kazemalilou *et al.*, 2021).

در بررسی اثر کودهای شیمیایی و آلی در تنش خشکی بابونه[1] نتایج نشان داد که کاربرد کود دامی و کمپوست در شرایط خشکی، سبب افزایش عملکرد شد (Ahmadia *et al.*, 2011). در بررسی اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف کود آلی (سه منبع: کود مرغی، کمپوست و کود دامی) بر خصوصیات کمّی و کیفی همیشه‌بهار[2] گزارش‌شده که مصرف کود دامی مرغی می‌تواند ضمن کاهش اثرات منفی تنش خشکی، باعث افزایش میزان ماده مؤثره، عملکرد و وزن خشک گل شود (Massoud *et al.*, 2014).

با توجه به تغییرات جوی، لزوم تجدیدنظر در انتخاب محصولات قابل‌کشت در مناطق خشک و نیمه خشک امری ضروری است، همچنین باید برخی گیاهان با نیاز آبی پایین و کم‌توقع جایگزین گیاهانی حساس به کم آبیاری شوند. با توجه به این امر که ختمی گیاهی کم‌توقع است و در طبیعت و مناطق حاشیه‌ای رشد خوبی دارد، بنابراین به‌عنوان گونه‌ای مناسب جهت کشت در سیستم‌های کم نهاده می‌تواند به‌کار رود. بدین منظور، آزمایشی باهدف بررسی مقاومت به کم‌آبی ختمی و همچنین مقایسه بسترهای مختلف کشت بر مقاومت به تنش خشکی دو اکوتیپ ختمی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی سطح تحمل به تنش خشکی اکوتیپ‌های گیاه ختمی در بسترهای مختلف در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت آزمایش فاکتوریل (۴×۳×۲) بر پایه طرح کامل تصادفی اجرا شد. این آزمایش دارای ۲۴ تیمار و سه تکرار بود که عامل اول شامل سه تیمار خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل چهار بستر کشت (خاک مزرعه، خاک مزرعه و کود دامی، خاک مزرعه و شلتوک برنج کوبیده شده و خاک مزرعه و کاه و کلش گندم) بر روی دو اکوتیپ ختمی مشهد (اکوتیپ ُمشهد؛ در عرض جغرافیایی '۳۶°۲۰ N و '۳۵°۵۹ E و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۵۰ متر) و اکوتیپ ُتهران' (اکوتیپ تهران: در عرض جغرافیایی '۱۸/۷ ۳۵°۵۴ N و '۵/۸ ۵۰°۵۳ E و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۶۸ متر) اجرا شد.

بذرها در سینی‌های کشت محتوی مخلوط کوکوپیت، پرلایت و پیت در گلخانه با میانگین دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تحت فتوپریود ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی با شدت نور ۴۰۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه در مردادماه کشت شده و سپس تمامی گیاهچه‌ها در مرحله ۵–۶ برگی در گلدان‌هایی (ارتفاع ۱۸ و قطر هشت سانتی‌متر) حاوی خاک مزرعه تا قبل از انتقال به مزرعه نگهداری شدند. گیاهان به مزرعه با چهار بستر متفاوت (خاک مزرعه، خاک مزرعه و کود دامی، خاک مزرعه و شلتوک، و خاک مزرعه و کاه و کلش گندم) منتقل شدند و در مرحله ظهور گل‌دهی به‌مدت یک ماه تحت تنش خشکی قرار گرفتند. به‌منظور ایجاد تنش خشکی پیش از اجرای آزمایش از خاک مورد استفاده در مزرعه نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

به‌منظور کنترل دقیق میزان رطوبت خاک از دستگاه TDR استفاده شد. دو اکوتیپ به‌مدت یک ماه در معرض تنش خشکی قرار گرفتند و براساس معادله زیر میزان آب موردنیاز محاسبه شد:

$$Vw= \{(FC - \theta)(Bd\times D\times A)\} \quad (۱)$$

در این معادله، FC: درصد وزنی ظرفیت زراعی، θ: درصد وزنی رطوبت خاک، D: عمق توسعه ریشه (متر) Bd: جرم مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمکعب)، A: مساحت هر کرت می‌باشد (Ahmadian *et al.*, 2011). آب مورد نظر تیمارهای آبیاری از طریق کنتور در اختیار گیاهان قرار گرفت.

1- *Matricaria chamomilla* L.

2- *Calendula officinalis* L.

در پایان آزمایش، تغییرات هدایت الکتریکی، pH، نیتروژن، پتاسیم، فسفر بسترهای خاکی محاسبه شد. شاخص کلروفیل (SPAD)، نشت الکترولیت (درصد)، محتوای نسبی آب (درصد)، پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)، کربوهیدرات (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) اندازه‌گیری شد. همچنین وزن خشک گیاه (گرم) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil used in the experiment

Growth bed بستر کشت	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)
Field soil خاک مزرعه	1.93	7.15	0.065	235	23
Soil + manure خاک + کود حیوانی	2.53	7.76	0.42	343	2214
Soil + rrice hull خاک + شلتوک برنج	1.77	7.26	0.23	1592	271
soil + wheat straw خاک + کاه و کلش گندم	3.13	6.68	0.21	1572	117

سنجش نشت الکترولیت

بعد از اعمال تیمارهای خشکی، دیسک‌های برگی به قطر هشت میلی‌متر تهیه و به ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر منتقل شدند. نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شده و سپس، نشت اولیه با استفاده از دستگاه ECمتر (مدل Jenway) اندازه گیری شد (EC_1). سپس، ویال‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو (با فشار ۱/۲ بار و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند و بعد از ۲۴ ساعت، نشت نهایی (EC_2) اندازه‌گیری شد. درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Reddy *et al.*, 2004).

$$EL\%=\frac{EC1}{EC2}\times 100 \quad (۲)$$

در این معادله، EL%، EC_1 و EC_2: به‌ترتیب نشان‌دهنده درصد نشت الکترولیت‌ها، نشت الکترولیت اولیه و نشت الکترولیت نهایی می باشند.

سنجش محتوای نسبی آب

برای ارزیابی محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب بعد از اعمال تنش خشکی، وزن تر برگ، وزن آماس و وزن خشک نمونه‌های برگی تهیه گردید. از گیاهان دیسک‌هایی با قطر هشت میلی‌متر تهیه و با استفاده از ترازو توزین گردیدند. سپس دیسک‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در داخل آب مقطر غوطه‌ور گردیده و پس از آن، وزن آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌ها را به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون حرارت داده و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. در نهایت، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Turner, 2018):

$$RWC\ (\%)=((FW-DW)/(TW-DW))\times 100 \quad (۳)$$

در این معادله، FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ، TW: وزن آماس برگ می‌باشد.

سنجش میزان پرولین

۰/۵ گرم از بافت برگ با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط و به‌شدت تکان داده شد. درنهایت ۱۵ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست‌آمده را با سانتریفیوژ ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. یک میلی‌لیتر از عصاره الکلی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر با پنج میلی‌لیتر نین‌هیدرین به مخلوط اضافه گردید. در مرحله بعد، پنج میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به هر نمونه اضافه شد و نمونه داخل حمام آب جوش به‌مدت ۴۵ دقیقه قرارداد شد. به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و سپس میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. منحنی کالیبراسیون با استفاده از استاندارد ال پرولین رسم و میزان پرولین آزاد نمونه‌ها براساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973).

اندازه‌گیری کربوهیدرات

میزان کربوهیدرات به‌روش پیشنهادی مک کردی و همکاران (McCready *et al.*, 1950) اندازه‌گیری شد. در پایان تنش خشکی، نمونه‌های برگ به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر خشک نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، به آن ۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد افزوده شد و توسط شیکر مخلوط

گردید. پس از سانتریفیوژ در ۳۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه، محلول رویی جدا شده و توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از این مرحله، به یک میلی‌لیتر از روشناوری محلول مذکور ۱۰ میلی‌لیتر محلول آنترون ۰/۱۵ درصد افزوده شد و در نهایت، نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حرارت داده شده، بلافاصله به حمام یخ منتقل شدند. آنگاه میزان جذب نور نمونه‌ها، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده و ثبت شده و غلظت قند کل نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز براساس میلی‌گرم بر گرم وزن خشک محاسبه شد (Ebell, 1969).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP 13.2 انجام و رسم شکل‌های مربوط به آن‌ها، توسط نرم‌افزار Excel صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل اکوتیپ، تنش خشکی و بسترهای کشت بر تغییرات عناصر خاک مزرعه شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در پایان آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۲)، امّا تغییرات نیتروژن خاک تحت اثرات متقابل اکوتیپ با خشکی، اکوتیپ با بسترهای کشت و تنش خشکی با بستر کشت قرار گرفت. بیشترین تغییرات نیتروژن در اکوتیپ مشهد تحت تنش خشکی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید و تفاوت معنی‌داری بین اکوتیپ‌ها در تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده نشد (شکل ۱ الف). اثرات متقابل تنش خشکی و بستر کشت نشان داد که میزان نیتروژن در بسترهای خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک برنج، خاک + کاه و کلش در طول آزمایش روندی افزایشی داشت، امّا در بستر خاک میزان نیتروژن خاک روندی نزولی داشت (شکل ۱ ب)، از طرفی نتایج متقابل اکوتیپ و بستر کشت نشان داد که میزان نیتروژن خاک هر دو اکوتیپ در تمامی بسترها به‌جز بستر خاکی روندی صعودی داشت (شکل ۱ ج). تغییرات فسفر به‌طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل تنش خشکی و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۲). در تمامی بسترهای کشت تحت تنش، بر میزان فسفر خاک در پایان آزمایش افزوده شد و بیشترین میزان فسفر در سه تنش خشکی در بستر خاک + کود حیوانی مشاهده شد (شکل ۱ د).

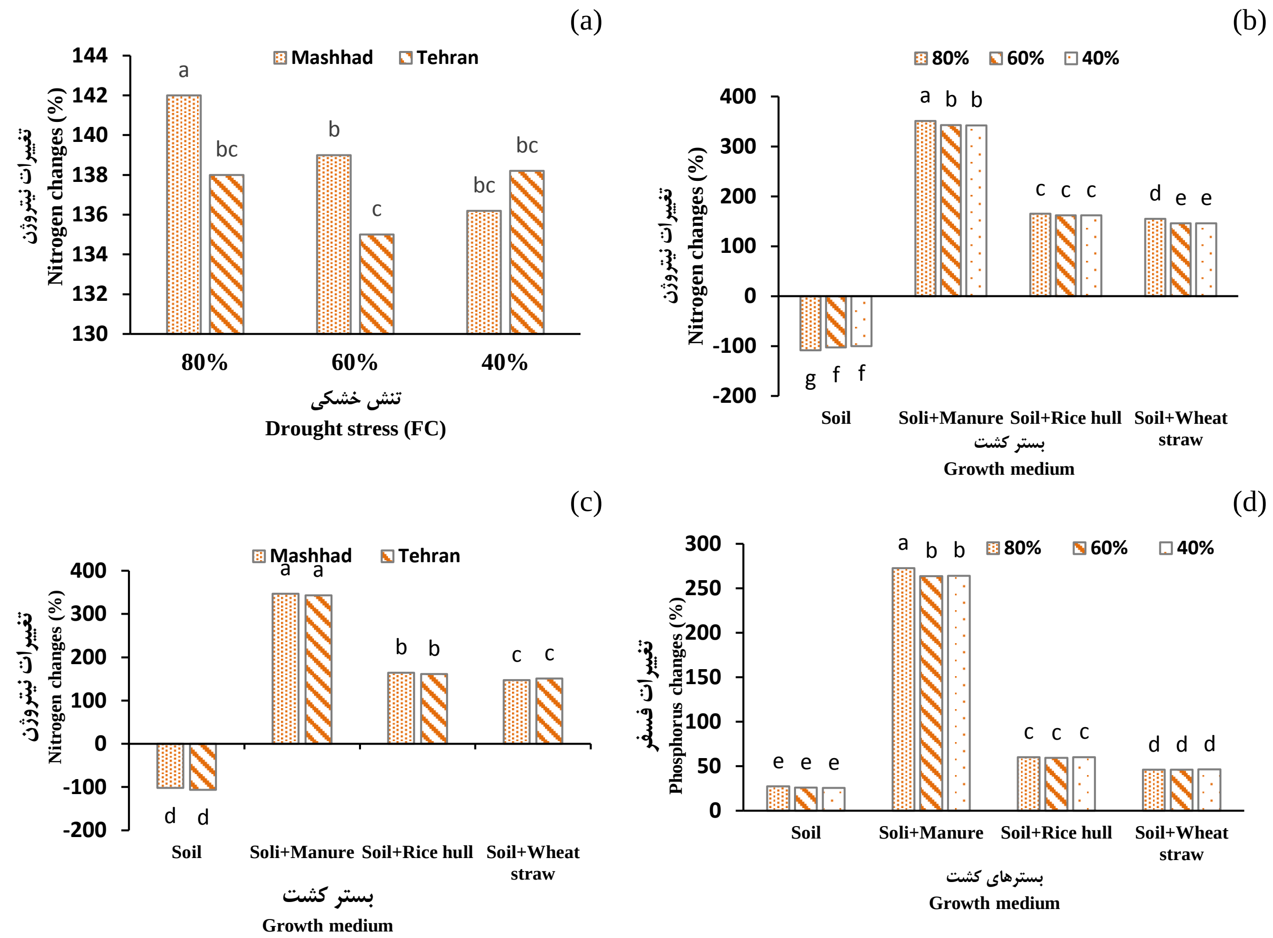
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات بسترهای کشت و تیمارهای آبیاری بر روی صفات ختمی

Table 1- ANOVA for the effects of growth medium and irrigation treatments on the characteristics of Hollyhock

منابع تغییر **S.O.V**	درجه آزادی **df**	میانگین مربعات **Mean squares** تغییرات نیتروژن خاک **Soil nitrogen changes**	تغییرات فسفر خاک **Soil phosphore changes**	تغییرات پتاسیم خاک **Soil potassium changes**	تغییراتpH **pH changes**	تغییرات EC **EC changes**
اکوتیپ Ecotype (E)	1	50^{ns}	1800**	64**	0.001^{ns}	815152**
خشکی Drought (D)	2	99**	54*	346**	0.0284**	298771**
بستر کشت Growth medium (GM)	2	613134**	226462**	530568**	0.231**	6115869**
اکوتیپ × خشکی E × D	2	64*	0.000001 ^{ns}	2 ^{ns}	0.002**	1636 ^{ns}
اکوتیپ × بستر کشت E × GM	2	50*	0.000001 ^{ns}	310**	0.033**	122568**
اکوتیپ × خشکی × بستر کشت GM × D	6	123**	26*	944**	0.350**	107519**
E × D × GM	6	1^{ns}	0.000001 ^{ns}	4 ^{ns}	0.034**	16034 ^{ns}
خطا Error	48	17	13	26	0.0003	16152

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively



شکل ۱- اثرات متقابل اکوتیپ × تنش خشکی (a)، بستر کشت × تنش خشکی (b)، اکوتیپ × بستر کشت (c) بر تغییرات نیتروژن و اثر متقابل بستر کشت × تنش خشکی (d) بر میزان فسفر بسترها در گیاه ختمی

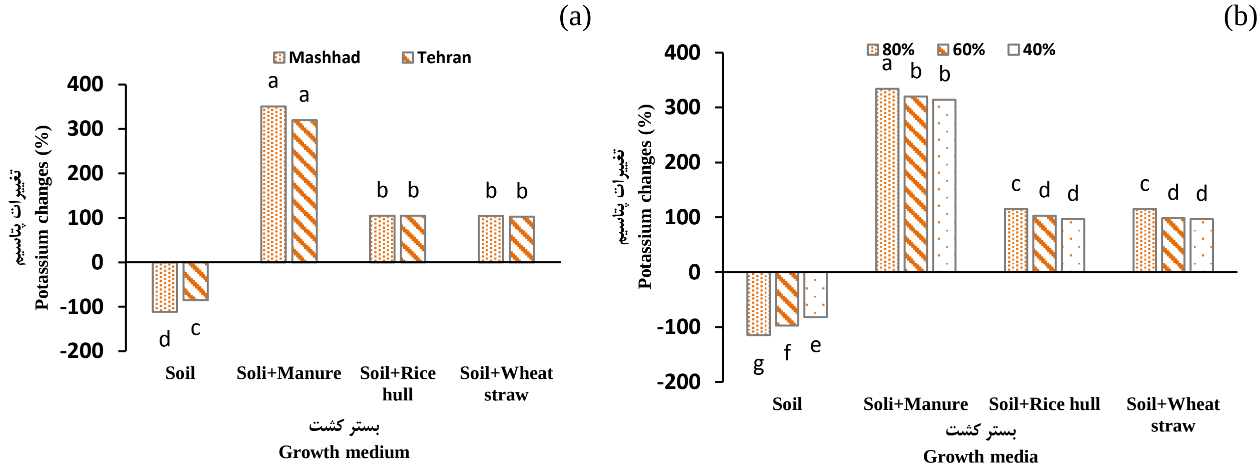
Figure 1- The interaction effects of ecotype ×drought stress (a), growth medium ×drought stress (b), ecotype ×growth medium (c) on nitrogen changes and the interaction effect of growth medium ×drought stress (d) on the phosphorus content of the growth medium in Hollyhock plant

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد' و 'تهران)، و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، و خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: drought stress (80, 60, and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, and soil + wheat straw) (LSD, *p≤0.05*)

میزان پتاسیم نیز تحت اثرات متقابل اکوتیپ با بستر کشت و تنش خشکی با بستر کشت قرار گرفت (جدول ۲). در هر دو اکوتیپ در تمامی بسترهای کشت به‌جز بستر خاکی میزان پتاسیم افزایش یافت و بیشترین میزان پتاسیم در هر دو اکوتیپ در بستر خاک + کود حیوانی مشاهده شد (شکل ۲ الف). میزان پتاسیم در تمامی بسترهای تحت تنش به‌جز بستر خاکی در پایان آزمایش افزایش یافت، امّا در همه بسترها با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی میزان پتاسیم خاک کاسته شد (شکل ۲ ب).

اثر اکوتیپ و بسترهای کشت بر شوری خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر دو اکوتیپ در همه بسترهای کشت میزان شوری خاک افزوده شد، بین دو اکوتیپ علاوه‌بر بستر خاکی در بستر خاک + کود حیوانی تفاوت معنی‌داری از نظر شوری خاک مشاهده نشد (شکل ۳).

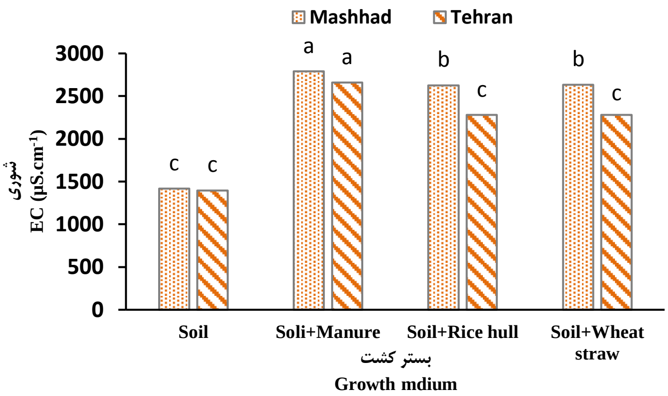


شکل ۲- اثر متقابل اکوتیپ × بستر کشت (a)، بستر کشت × تنش خشکی (b) بر تغییرات پتاسیم بسترها در گیاه ختمی

Figure 2- The interaction effect of ecotype ×growth medium (a), growth medium ×drought stress (b) on the potassium changes of growth medium in Hollyhock plant

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد' و تهران')، و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، و خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: drought stress (80, 60, and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, and soil + Wheat straw) (LSD, $p \leq 0.05$)



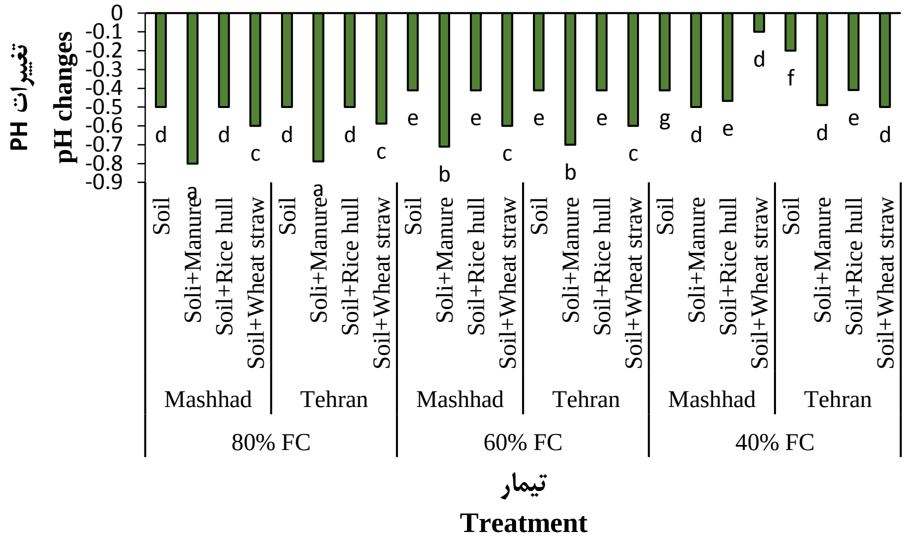
شکل ۳- اثر متقابل اکوتیپ × بستر کشت بر شوری بسترها

Figure 3- The interaction effect of ecotype ×growth medium on the salinity of substrates

تیمارهای آزمایش: اکوتیپ (مشهد' و تهران') و بسترهای کشت در گیاه ختمی (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، و خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: Ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium in Hollyhock plant (soil, soil + manure, soil + rice hull, and soil + Wheat straw) (LSD, $p \leq 0.05$)

اثر اکوتیپ، تنش خشکی و بسترهای کشت بر میزان تغییرات pH خاک معنی‌دار بود (جدول ۲)، در همه تیمارهای مورد آزمایش میزان اسیدیته خاک افزایش یافت. به‌نحوی‌که در هر دو اکوتیپ تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در بستر خاک + کود حیوانی بیشترین تغییرات pH مشاهده شد. در هر دو اکوتیپ تحت تنش‌های خشکی میزان تغییرات اسیدیته بسترهای خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک برنج نسبت به بستر خاکی بیشتر بود (شکل ۴).



شکل ٤- اثر تنش خشکی بر pH بسترهای کشت اکوتیپ‌های ختمی

Figure 4- The effect of drought stress on pH of growth medium in Hollyhocks

آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، و خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: drought stress (80, 60, and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, and soil + Wheat straw) (LSD, $p\leq 0.05$)

در تحقیقی کاربرد اثرات کود آلی (کود گاوی، مرغی، خاک اره)، کود شیمیایی حاوی (اوره + سوپر فسفات و کلراید پتاسیم) بر درخت لاله (*Liriodendron tulipifera*) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در کاربرد کود آلی، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم بستر کشت بیشتر از بسترهای حاوی کود شیمیایی بود، از طرفی میزان اسیدیته بستر کشت در پایان آزمایش قلیایی شد و شوری بستر کشت در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Han *et al.*, 2016). در آزمایش حاضر نیز بیشترین تغییرات میزان عناصر ماکرو در بستر خاک + کود حیوانی مشاهد شد و همچنین، بر میزان شوری و اسیدیته بسترهای کشت افزوده شد. با کاربرد کود حیوانی و تجزیه آن در خاک، دی‌اکسیدکربن تولیدشده در اثر حل شدن این گاز در آب خاک، اسید کربنیک تولید می‌شود که باعث کاهش واکنش خاک می‌گردد، از طرفی مواد آلی حاوی اسیدهای آلی می‌باشد و افزودن این مواد به‌طور مستقیم باعث تغییراتی در واکنش خاک می‌شود (Ajoudan, 2005)، همچنین کاهش واکنش خاک در بسترهای آلی در مقایسه با خاک به‌دلیل ترشح یون‌های پروتون نیز می‌باشد (Marschner, 1995) که مطابق با آزمایش اخیر بود و نتایج نشان داد که در بسترهای حاوی خاک + کود حیوانی، میزان واکنش خاک در پایان آزمایش کاهش یافت. با تجزیه مواد آلی در خاک، یون‌های حاصل از تجزیه به محلول خاک وارد شده و در نتیجه، موجب افزایش شوری خاک گردید که مطابق با نظر خادم و همکاران (Khadem *et al.*, 2014) بود. در بررسی EC خاک، نتایج نشان داد که در بستر کود حیوانی با واکنش خاک کمتر در تنش خشکی، EC خاک افزایش یافته است. رابطه معکوس واکنش خاک و EC به دلیل افزایش میزان یون هیدروژن است (Najafi & Mardomi, 2013) و با توجه به اینکه یون هیدروژن بیشترین هدایت اکی‌والانی را در بین یون‌ها دارد، سبب افزایش EC خاک می‌گردد. از طرفی، کاهش واکنش خاک سبب حل شدن و آزادسازی یون‌های مختلف به محلول خاک می‌شود که نهایتاً افزایش EC حاصل می‌گردد (Najafi & Parsazadeh, 2011).

براساس نتایج تجزیه واریانس، شاخص کلروفیل گیاهان به‌طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل تنش خشکی، اکوتیپ و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین شاخص کلروفیل در اکوتیپ مشهد تحت تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در بسترهای خاک + کود حیوانی (۶۹) و کمترین میزان این شاخص در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۴۰ درصد در بستر خاک مزرعه (۴۱) مشاهده شد. در تمامی تیمارهای آبیاری در هر دو اکوتیپ، کمترین میزان این شاخص در بستر حاوی خاک مزرعه مشاهده شد و با افزایش تنش خشکی روندی نزولی در این شاخص به ثبت رسید (شکل ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات بسترهای کشت و تیمارهای آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ختمی

Table 3- ANOVA for the effects of growth mediums and irrigation treatments on physiological and morrphologican traits of hollyhock

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		شاخص کلروفیل SPAD	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب RWC	پرولین Proline	کربوهیدرات Carbohydrate	وزن خشک Dry weight
اکوتیپ Ecotype (E)	1	280**	144**	337**	0.521**	106.6**	33.2**
خشکی Drought (D)	2	672**	792**	148**	4.622**	12.2**	20.2**
بستر کشت Growth medium (GM)	2	551**	251**	33**	2.287**	90.50**	241**
اکوتیپ× خشکی E × D	2	23**	15**	0.161 ns	0.0040 **	26.1**	2.31**
اکوتیپ × بستر کشت E × GM	2	13**	32**	0.186 ns	0.0001 ns	0.140**	0.212 ns
اکوتیپ × خشکی × بستر کشت GM× D	6	3**	93**	3.514**	0.547**	2.28**	0.778**
E × D × GM	6	9**	32**	0.374*	0.0001 ns	0.159*	0.635**
خطا Error	48	0.172	0.1	0.161	0.0001	0.055	0.192

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

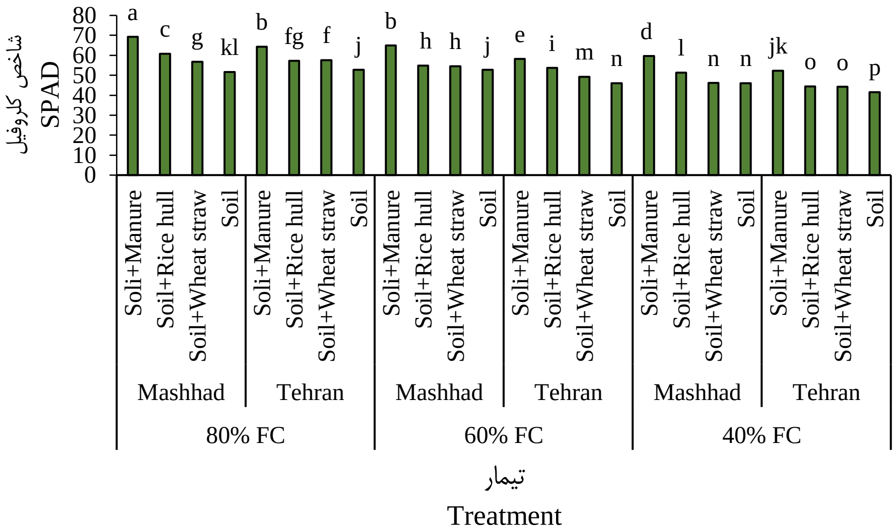
ns, ** and *: non-significant, and significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

در گیاهان تحت تنش بیشتر، کمبود عناصر غذایی و کاهش منبع انرژی جذب نور خورشید منجر به آسیب به سیستم فتوسنتز و کلروفیل می‌گردد، زیرا عناصر غذایی نقش مهمی در سیستم انتقال الکترون و متابولیسم کربن دارند (Luciano-Mateo *et al.*, 2017) که نتایج آزمایش فوق مطابق با این موضوع می‌باشد، زیرا کمترین میزان شاخص نسبی کلروفیل در تیمار خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در بستر خاکی به ثبت رسید. کاربرد کودهای حاوی ۱۰ گرم نیتروژن و کودهای حاوی هشت گرم فسفر بر افزایش کلروفیل و کاروتنوئید گیاه افرای شیردار (*Acer mono*) مؤثر بودند (Razaq *et al.*, 2017)، زیرا افزایش نیتروژن بر تشکیل رنگدانه‌های فتوسنتزی از طریق پروتئین‌های تیلاکوئیدی و روزنه‌ای مؤثر هستند (Teixeira Filho *et al.*, 2011; Peng *et al.*, 2021). خصوصیات بیوشیمیایی و بیوسنتزی رنگدانه‌های فتوسنتزی علاوه‌بر نیتروژن به فسفر نیاز دارد. بنابراین، کاهش فسفر سبب کاهش میزان پروتئین و محتوای کلروفیل می‌شود (Mohamed *et al.*, 2021). در آزمایش حاضر، همبستگی مثبتی بین میزان نیتروژن و پتاسیم با میزان شاخص کلروفیل وجود دارد به‌نحوی‌که با کاربرد بستر خاکی همراه با کود حیوانی با افزایش میزان عناصر در خاک، در گیاهان تحت تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی میزان جذب این عناصر افزایش یافته است و به تبع آن این عناصر در برگ گیاهان نیز در مقایسه با تیمارهای دیگر آبیاری بیشتر بوده است.

نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب و کربوهیدرات به‌طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل تنش خشکی، اکوتیپ و بستر کشت قرار گرفتند (جدول ۳). بیشترین نشت الکترولیت در اکوتیپ تهران تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و بستر کشت خاکی (۵۵ درصد) و کمترین آن در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و بسترهای کشت خاک + کود حیوانی و خاک + شلتوک برنج (۲۷ درصد) به ثبت رسید. با افزایش تنش خشکی در تمامی بسترها، نشت الکترولیت در دو اکوتیپ افزایش یافت، به‌نحوی‌که با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در اکوتیپ مشهد و بستر خاک + کود، درصد نشت الکترولیت ۲۳ و در بستر خاک این شاخص ۵۸ درصد افزایش یافت (شکل ۶ الف).

مقایسه میانگین داده‌های محتوای نسبی آب گیاهان نشان داد که این شاخص در اکوتیپ مشهد نسبت به تهران تحت تیمارهای ۸۰ درصد ظرفیت زراعی در بستر خاک + کود حیوانی شش درصد افزایش یافت. بیشینه این شاخص در اکوتیپ مشهد تحت تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با بسترهای کشت: خاک + کود حیوانی (۷۳

درصد) و کمترین محتوای نسبی آب برگ در اکوتیپ تهران کشت شده در بستر خاکی تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۶۰ درصد) به ثبت رسید. با کاهش آبیاری تا ۴۰ درصد ظرفیت زراعی محتوای نسبی آب برگ‌ها در اکوتیپ مشهد و تهران در بستر خاکی به‌ترتیب، ۵ و ۶ درصد کاهش یافت (شکل ۶ ب). محتوای نسبی آب برگ‌ها با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد (Altaf *et al.*, 2021). حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2014) تأثیر تنش خشکی را بر صفات آنیسون مورد بررسی قرار دادند و محتوای نسبی آب، شاخص محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و در شرایط تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.



شکل ۵- اثر تنش خشکی بر شاخص کلروفیل اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران) و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک+شلتوک، و خاک + کاه و کلش گندم).

Figure 5- The effect of drought stress on the SPAD readings of Hollyhocks ecotypes under different growth media

Experimental treatments: drought stress (80, 60, and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, and soil + Wheat straw) (LSD, $p \le 0.05$)

دلیل اصلی افزایش تخفیف تنش خشکی در حضور نیتروژن و پتاسیم، تنظیمات اسمزی و حفظ محتوای نسبی آب می‌باشد (Fanaei *et al.*, 2009; Mehregan *et al.*, 2017). کاربرد ۱۰ میلی‌مولار پتاسیم نیترات بر نارنج (*Citrus aurantium*) نسبت به شاهد، محتوای نسبی آب را ۶۸ درصد افزایش داد (Rafie *et al.*, 2016). پاسخ‌های مشابهی از کودهای پتاسیمی در گیاه آلترناترا (Mehregan *et al.*, 2018) و چای ترش (Besharati *et al.*, 2021) تحت تنش خشکی گزارش‌شده است. در بررسی دو اکوتیپ نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ‌های اکوتیپ مشهد در مقایسه با اکوتیپ تهران در تیمارهای مختلف بیشتر بود، از طرفی در هر دو اکوتیپ با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی، از میزان محتوای نسبی آب گیاهان کاسته شد. محتوای نسبی آب برگ گیاهان با بسترهای کود حیوانی در مقایسه با دیگر بسترها، با افزایش جذب عناصری نظیر نیتروژن بیشتر بود و کمترین میزان محتوای نسبی آب برگ‌ها در گیاهان بستر خاکی به ثبت رسید.

بیشترین کربوهیدرات در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و بستر کشت خاک + کود حیوانی (۸۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و کمترین آن در اکوتیپ تهران و بسترهای کشت خاکی (۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به ثبت رسید. با افزایش تنش خشکی از ۸۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در اکوتیپ تهران و بستر خاک + کود حیوانی، کربوهیدرات سه درصد و در بستر خاک + شلتوک برنج، تنها ۱/۵ درصد افزایش یافت (شکل ۶ ج).

گیاهان تحت تنش خشکی با افزایش میزان جذب آب و کاهش هدررفت آب (بستن روزنه‌ها و برگ‌های کوچک‌تر) از صدمات بیشتر جلوگیری می‌نمایند. هنگامی‌که میزان فتوسنتز برای گیاه پاسخگو نمی‌باشد، کربوهیدرات‌ها شروع به شکستن می‌نمایند که منجر به حفظ تنظیمات اسمزی در سلول می‌شوند (Jie *et al.*, 2010). عناصر غذایی

در تنش خشکی بر میزان کربوهیدرات‌ها به‌عنوان ماده تنظیم اسمزی نقش مهمی دارند و اثر تنش خشکی را تخفیف می‌دهند. تجمع پتاسیم در واکوئل همراه با ساکارز سبب حفظ فشار تورژسانس و اسمزی می‌شود و در جذب آب در گیاهان مؤثر می‌باشد (Ajoudan, 2005)، از طرفی در شرایط تنش خشکی با بالا نگه‌داشتن pH سلولی مانع آسیب به کلروپلاست می‌گردد. تحت تنش خشکی افزایش نیاز به پتاسیم برای تثبیت دی‌اکسیدکربن در فتوسنتز، حفاظت از کلروپلاست در برابر آسیب‌های اکسیداتیو، جلوگیری از اختلال و متابولیسم کربوهیدرات برای گیاه بیشتر می‌شود (Jie *et al*., 2007). تأثیر کمبود پتاسیم نه‌تنها به‌دلیل اختلال در هدایت روزنه‌ای است، بلکه به‌دلیل کاهش فعالیت مخزن‌ها و آسیمیلاسیون کربوهیدرات به‌دلیل کاهش رشد می‌باشد (Bahrami-Rad & Hajiboland, 2017). کمبود پتاسیم در صورت کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و آب کافی در طی رشد عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد (Wang *et al*., 2013). میزان قندهای محلول در ریشه و اندام هوایی گیاه نوروزک[1] در گیاهان تحت تنش همراه با کاربرد پتاسیم افزایش یافت، افزایش میزان قندها و پتاسیم در گیاهان تحت تنش نوعی مکانیسم دفاعی در این گیاه می‌باشد (Reddy *et al*., 2014).

در آزمایش اخیر، گیاهان در بسترهای خاک + کود حیوانی میزان کربوهیدرات برگ‌های اکوتیپ تهران را در آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با جذب عناصر غذایی بیشتر از خاک و به تبع آن عناصر بیشتر در برگ، ثابت نگه داشتند و همبستگی میزان کربوهیدرات و عنصر نیتروژن این نتایج را اثبات می‌نماید. از طرفی، گیاهان در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی از افزایش کربوهیدرات به‌منظور تنظیمات اسمزی و همچنین، به‌عنوان سیستمی در جهت مقاومت در برابر تنش خشکی بهره گرفتند.

میزان پرولین به‌طور معنی‌داری تحت اثرات متقابل تنش خشکی و اکوتیپ، تنش خشکی و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۳)، به‌نحوی‌که پرولین، با کاهش آبیاری از ۸۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در هر دو اکوتیپ روندی صعودی داشت. بیشترین و کمترین میزان پرولین به‌ترتیب، در اکوتیپ مشهد تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و اکوتیپ تهران تحت تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید (شکل ۷ الف). در بررسی اثر بسترهای کشت بر این شاخص در هر چهار بستر با افزایش تنش خشکی، میزان پرولین برگ‌ها افزایش یافت و بیشترین این شاخص در بستر خاک + کود حیوانی در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (۲/۰۵۲ میکرومول بر گرم وزن تر) مشاهده شد (شکل ۷ ب).

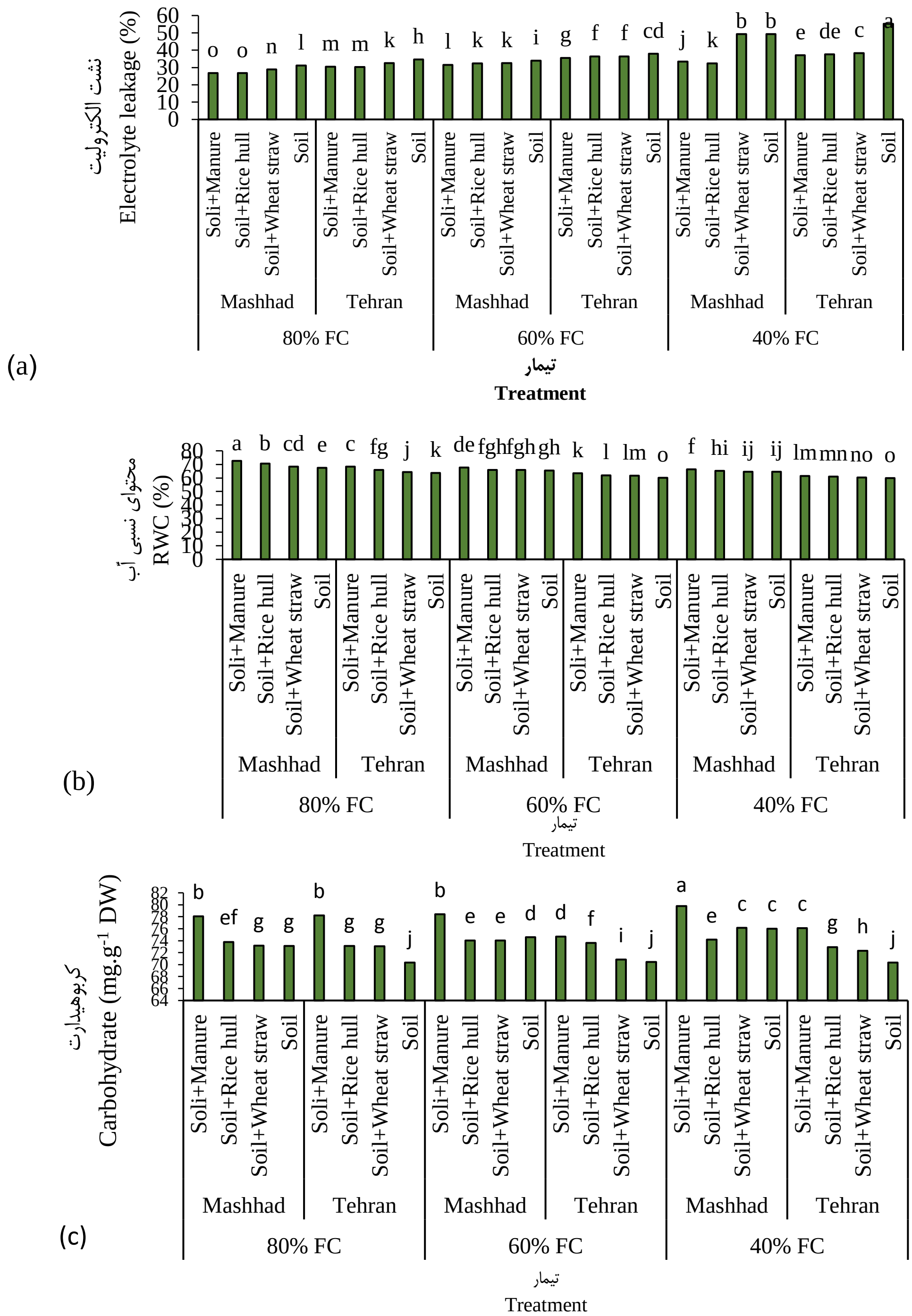
گیاهان به‌منظور کاهش اثرات تنش خشکی در اثر آسیمیلاسیون نیترات از تنظیمات اسمزی استفاده می‌نمایند که تجمع پرولین نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارد (Cui *et al*., 2021). قبادی و همکاران (Ghobadi *et al*., 2013) در آزمایشی نشان دادند که رقم‌های مختلف آفتابگردان پاسخ‌های مختلفی به تنش خشکی می‌دهند و ارقام مقاوم‌تر در شرایط تنش با میزان پرولین و کاروتنوئید بیشتر به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی نسبت به ارقام حساس‌تر متمایز شدند. جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2019) در دو رقم شب بو[2] نشان دادند که تجمع ترکیبات اسمولیتی نظیر پرولین در رقم مقاوم‌تر بیشتر از رقم حساس‌تر تحت تنش خشکی بود. از طرفی، پتاسیم با کاهش پتانسیل آب برگ فشار تورژسانس را حفظ می‌نماید (Cakmak, 2005). کاربرد پتاسیم نیترات نسبت به شاهد، سبب محتوای نسبی آب و با حفظ تنظیمات اسمزی سبب تجمع پرولین می‌شود (Gong *et al*., 2011). حضور عناصر نیتروژن و پتاسیم با حفظ تنظیمات اسمزی باعث تجمع پرولین می‌شوند (Rafie Rad *et al*., 2016; Maijd *et al*., 2021). در آزمایش حاضر، میزان پرولین در اکوتیپ مشهد بیشتر بود و در هر دو اکوتیپ با افزایش تنش خشکی افزایش یافت، از طرفی در خاک گیاهان حاوی بستر کشت کود حیوانی مشخص شد که تغییرات میزان نیتروژن نسبت به بسترهای دیگر تحت تنش خشکی، بالاتر است که با افزایش جذب این عناصر، باعث افزایش تجمع پرولین و تعادل تنظیمات اسمزی می‌شود (Bahrami-Rad & Hajiboland, 2017)).

در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین وزن خشک در اکوتیپ مشهد و بستر کشت خاک + کود حیوانی (۹۴/۵ گرم) به ثبت رسید، کاربرد خاک مزرعه به‌تنهایی در هر دو اکوتیپ، وزن خشک گیاهان را در همه تیمارهای آبیاری کاهش داد. در دو تیمار آبیاری دیگر نیز روندی مشابه مشاهده شد و کمترین وزن خشک گیاه در اکوتیپ تهران تحت تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و بسترهای خاک + کاه و کلش و بستر خاک مزرعه (۸۳ گرم) به ثبت رسید (شکل ۸).

کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی شدید در بستر خاکی سبب کاهش میزان فتوسنتز و کاهش آسیمیلاسیون کربن می‌گردد، در نتیجه منجر به کاهش وزن خشک گیاه می‌شود (Ors *et al*., 2021). نیتروژن اثر منفی تنش خشکی را بر وزن خشک گیاهان از طریق افزایش توانایی فتوسنتز با به دام انداختن کربن، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و افزایش سنتز و انتقال ماده خشک کاهش می‌دهد (Xu *et al*., 2020). محققین نشان دادند که با کمبود نیتروژن و فسفر در بستر گل لزیانتوس، وزن خشک شاخه به ریشه کاهش یافت (Chen *et al*., 2018).

1- *Salvia leriifolia* Benth

2-*Matthiola incana* L.

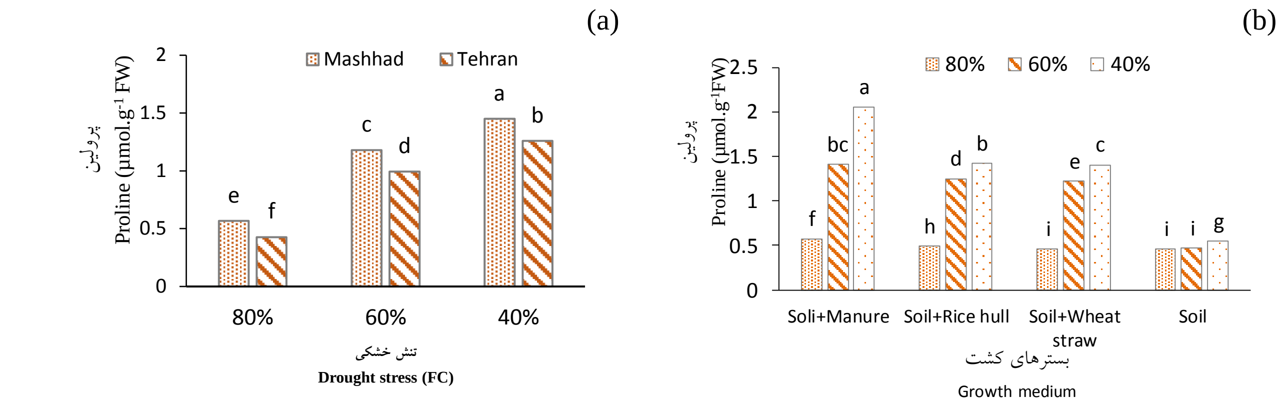


شکل ٦- اثرات تنش خشکی بر نشت الکترولیت (a)، محتوای نسبی آب (b) و کربوهیدرات (c) اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد و تهران)، و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، خاک + کاه و کلش گندم).

Figure 6- The effects of drought stress on the electrolyte leakage (a), water relative content (b) and carbohydrate (c) of Hollyhock ecotypes under different substrates

Experimental treatments: drought stress (80, 60 and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, soil + wheat straw) (LSD, $p \le 0.05$).

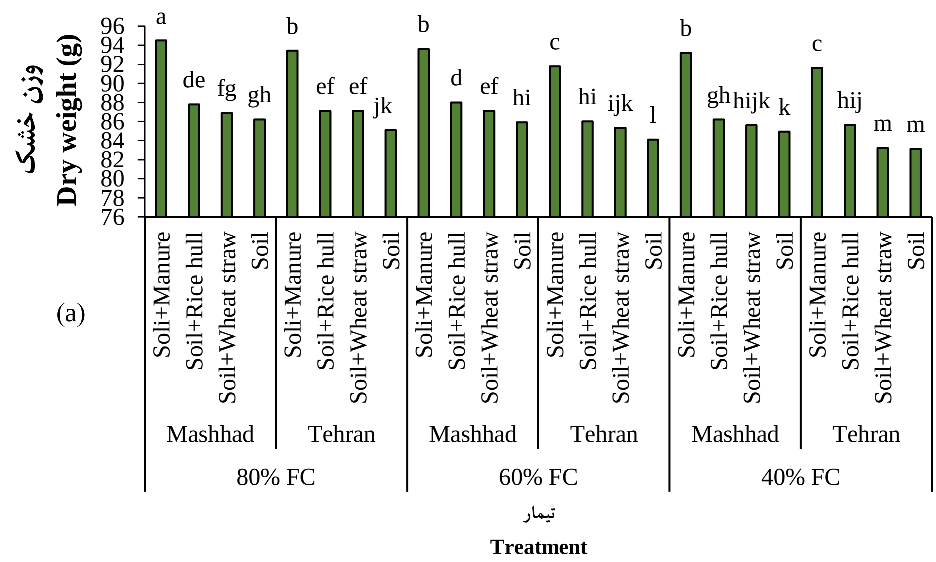


شکل ۷- اثر تنش خشکی اکوتیپ‌های ختمی (a) و اثر متقابل تنش خشکی × بستر کشت (b) بر محتوی پرولین برگی اکوتیپ‌های ختمی

Figure 7- The effect of drought stress (a) and interaction effect of drought stress ×growth medium onthe leaf proline content (b) of Hollyhock ecotypes

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد' و تهران') و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: drought stress (80, 60 and 40%FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, soil + straw and wheat straw) (LSD, *p≤0.05*)



شکل ۸- اثر تنش خشکی بر وزن خشک اکوتیپ‌های ختمی تحت بسترهای مختلف

Figure 8- The effect of drought stress on the dry weight of Hollyhock ecotypes under different substrates

تیمارهای آزمایش: تنش خشکی (۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی)، اکوتیپ (مشهد' و تهران') و بسترهای کشت (خاک مزرعه، خاک + کود حیوانی، خاک + شلتوک، خاک + کاه و کلش گندم)

Experimental treatments: drought stress (80, 60 and 40% FC), ecotype (‘Mashhad’ and ‘Tehran’), and growth medium (soil, soil + manure, soil + rice hull, soil + wheat straw) (LSD, *p≤0.05*).

برگ گیاهان ختمی در شرایط تنش خشکی شدید ریزش یافت، بدین منظور سطح برگ نسبت به شرایط رطوبت کافی کاهش یافت و این ممکن است تطابق مثبت در جهت سازگار شدن به شرایط کم‌آبی باشد (Kozlowski & Pallardy, 2002). داده‌های آزمایش حاضر نشان می‌دهد که نیتروژن، مقاومت گیاهان را به تنش خشکی افزایش داده است که محققان گزارش‌های زیادی را در رابطه با این موضوع منتشر نمودند (Hosseinzadeh *et al.*, 2021; Saud *et al.*, 2020). همبستگی منفی بین وزن خشک گیاه با نشت الکترولیت نشان‌دهنده این مطلب است که در تنش خشکی شدید و بستر خاک مزرعه با افزایش نشت الکترولیت از وزن خشک گیاهان کاسته شد که مطابق با

نظر اورعی و همکاران (Oraee & Tehranifar, 2020) بود، زیرا آن‌ها نشان دادند که میزان نشت الکترولیت گیاهان بنفشه تحت تنش خشکی شدید افزایش یافت و این امر سبب کاهش میزان ماده خشک این گیاهان شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان بیان نمود که مواد آلی همراه با خاک بیشترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژی و رشدی دو اکوتیپ ختمی در شرایط تنش خشکی داشته‌اند و تا حدی اثرات منفی تنش را تخفیف داده‌اند؛ بنابراین کاربرد اکوتیپ مشهد و مصرف کود آلی همچون کود دامی در مدیریت تغذیه ختمی در شرایط تنش خشکی در راستای اهداف کشاورزی پایدار قابل توصیه می‌باشد.

References

1. Ahmad, I., & Maathuis, F.J. (2014). Cellular and tissue distribution of potassium: physiological relevance, mechanisms and regulation. *Journal of Plant Physiology*, *171*(9), 708-714. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.016
2. Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Haydari, M., Ramroodi, M., & Mousavinik, S.M. (2011). Study of chamomiles yield and its components under drought stress and organic and inorganic fertilizers usage and their residue. *Journal of Microbiology and Antimicrobials*, *3*(2), 23-28.
3. Ahmed, B., Roy, C.D., Subramaniam, S.A., Ganie, D., Kwatra, D., Dixon, D., Anant, A., Zarqar, M.A., & Umar, S. (2016). An ornamental plant targets epigenetic signaling to block cancer stem cell driven colon carcinogenesis. *Carcinogenesis*, *37*(4), 385-396. https://doi.org/10.1093/carcin/bgw009
4. Ajoudan, M. (2005). Effect of high quality organic matter and different amounts on soil physicochemical properties and potato yield. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran. 140 pp. (In Persian with English abstract)
5. Altaf, A., Gull, S., Zhu, X., Zhu, M., Rasool, G., Ibrahim, M.E.H., Aleem, M., Uddin, S., Saeed, A., Zaman Shah, A., Zada, A., Quan, M., Yonggang, D., Xu, D., & Chen, L. (2021). Study of the effect of peg-6000 imposed drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using relative water content (RWC) and proline content analysis. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *58*(1), 357-367. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.953
6. Asghari, F. (2014). Evaluation of changes in vegetative and reproductive growth and the amount of Hollyhock mucilage(*Althaea rosea* L.) under salinity. M.Sc. Thesis.. Baharan Non-Governmental Institute of Higher Education, Faculty of Science, Gorgan. (In Persian with English abstract)
7. Bahrami-Rad, S., & Hajiboland, R. (2017). Effect of potassium application in drought-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants, Comparison of root with foliar application. *Annals of Agricultural Science*, *62*(2), 121-130. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2017.08.001
8. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
9. Besharati, J., Sehirmardi, M., Meftahizadeh, H., Ardakani, M.D., & Ghorbanpour, M. (2021). Changes in growth and quality performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. *South African Journal of Botany*, *145*, 334-347. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.018
10. Burt, S.A., & Reinders, R.D. (2003). Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157: H7. *Letters in Applied Microbiology*, *36*(3), 162-167. https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2003.01285.x
11. Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition*, *168*(4), 521–530. https://doi.org/10.1002/jpln.200420485
12. Chen, C.T., Lee, C. L., & Yeh, D.M. (2018). Effects of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, or magnesium deficiency on growth and photosynthesis of Eustoma. *HortScience*, *53*(6), 795-798. https://doi.org/10.21273/HORTSCI12947-18
13. Cui, G., Xiao, X., Zhang, W., Lang, D., Li, Z., & Zhang, X. (2021). Exogenous silicon relieve drought stress and salt stress of *Glycyrrhiza uralensis* seedlings by regulating proline metabolism and nitrogen assimilation. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *96*(6), 728-737. https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1921624
14. Ebell, L.F. (1969). Variation in total soluble sugars of conifer tissues with method of analysis. *Phytochemistry*, *8*(1), 227-233. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)85818-5
15. Fanaei, H.R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari, A., & Bonjar, G. (2009). Amelioration of water stress by potassium fertilizer in two oilseed species. *International Journal of Plant Production*, *3*(2), 41-54. (In Persian with English abstract)
16. Ghobadi, M., Taherabadi, S., Ghobadi, M.E., Mohammadi, G.R., & Jalali-Honarmand, S. (2013). Antioxidant capacity, photosynthetic characteristics and water relations of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to drought stress. *Industrial Crops and Products*, *50*, 29-38. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.009

17. Gong, X., Chao, L., Zhou, M., Hong, M., Luo, L., Wang, L., Ying, W., Cai, J., Songjie, G., & Hong, F. (2011). Oxidative damages of maize seedlings caused by exposure to a combination of potassium deficiency and salt stress. *Plant Soil, 340*(1), 443–452. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0616-7
18. Han, S.H., An, J.Y., Hwang, J., Kim, S.B., & Park, B.B. (2016). The effect of organic manure and chemical fertilizer on the growth and nutrient concentrations of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) in a nursery system. *Forest Science and Technology*, *12*(3), 1-7.
19. Heidari, N., Pouryousef, M., & Tavakoli, A. (2014). The effect of drought stress on photosynthesis, its related parameters, and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research*, *7*(27), 829-839. (In Persian with English abstract)
20. Hosseinzadeh, M.H., Ghalavand, A., Boojar M.M.A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Application of manure and biofertilizer to improve soil properties and increase grain yield, essential oil and ω3 of purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Soil and Tillage Research*, *205*, 104633. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104633
21. Hussain, L., Akash, M.S.H., Tahir, M., Rehman, K., & Ahmed, K.Z. (2014). Hepatoprotective effects of methanolic extract of *Alcea rosea* against acetaminophen-induced hepatotoxicity in mice. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, *9*(3), 322-327.
22. Jafari, S., Garmdareh, S.E.H., & Azadegan, B. (2019). Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, *253*, 128-133.
23. Jie, Z., Yuncong, Y., Streeter, J.G., & Ferree, D.C. (2010). Influence of soil drought stress on photosynthesis, carbohydrates and the nitrogen and phophorus absorb in different section of leaves and stem of Fugi/M.9EML, a young apple seedling. *African Journal of Biotechnology*, *9*(33), 5320-5325.
24. Kane, D.A., Bradford, M.A., Fuller, E., Oldfield, E.E., & Wood, S.A. (2021). Soil organic matter protects US maize yields and lowers crop insurance payouts under drought. *Environmental Research Letters*, *16*(4), 044018
25. Kang, S.M., Latif Khan, A., Waqas, M., You, Y.H., Kim, J.H., Kim, J.G., Hamayun, M., & Lee, I.J. (2014). Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 673-682. https://doi.org/10.1080/17429145.2014.894587
26. Kazemalilou, S., Lajayer, B.A., & Ghorbanpour, M. (2021). *Increasing the tolerance of water-deficit stress in plants with integrated application of organic and inorganic fertilizers*. In Agri-Based Bioeconomy (pp. 299-312). CRC Press. 1st Edition.
27. Khadem, A., Golchin, A., Shafiee, S., Zare, A. (2014). The effect of animal manure and sulfur on nutrient uptake by maize (*Zea mays* L.). *Applied Field Crop Research*,. *27*(103), 1-11. (In Persian with English abstract)
28. Kirchmann, H. (2021). Revisiting the original reasons for excluding inorganic fertilizers in organic farming—Why the ban is not consistent with our current scientific understanding. *Outlook on Agriculture*, *50*, 107-115. https://doi.org/10.1177/00307270211020025
29. Kozlowski, T.T., & Pallardy, S.G. (2002). Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review*, *68*(2), 270-334. https://doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0270:AAAROW]2.0.CO;2
30. Luciano-Mateo, F., Hernández-Aguilera, A., Cabre, N., Camps, J., Fernández-Arroyo, S., Lopez-Miranda, J., Menendez, A.J., & Joven, J. (2017). Nutrients in energy and one-carbon metabolism: Learning from metformin users. *Nutrients*, *9*(2), 121.
31. Mahajan, A., & Gupta R.D. (2009). *Bio-fertilizer, their kinds and requirements in India*. In: Mahajan A, Gupta RD (Ed) Integrated Nutrient Management (INM) in a sustainable rice-wheat cropping system. Springer Netherland.
32. Majid, A., Rather, B., Masood, A., & Khan, N. (2021). Abscisic acid and nitrogen showed coordinated action on antioxidant system and osmotic adjustment to alleviate salinity inhibited photosynthetic potential in *Brassica juncea* L. *Preprints*, 2021060147. https://doi.org/10.20944/preprints202106.0147.v1
33. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. 2th Ed. Academic Press, London. Sandiego, Ca pp, 379-396.
34. Massoud, H.Y., Sharef, El-Deen, M.N., Yousef, R.M.M., & Megahed, M.S. (2014). Effect of water requirement and organic fertilization on growth and yeild of marigold (*Calendula officinalis* L.) plants under sandy soil conditions. *Journal of Plant Production*, *5*(11), 1849-1865.
35. McCready, R.M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical Chemistry*, *22*(9), 1156-1158. https://doi.org/10.1021/ac60045a016
36. Mehregan, B., Mousavi Fard, S., & Rezai Nezhad, A. (2018). The effect of foliar application of potassium silicate on some morphological, physiological and biochemical characteristics of *Alternanthera repens* L. under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, *20*(1), 314-299.

37. Mohamed, H.I., El-Sayed, A.A., Rady, M.M., Caruso, G., Sekara, A., & Abdelhamid, M.T. (2021). Coupling effects of phosphorus fertilization source and rate on growth and ion accumulation of common bean under salinity stress. *Plant Biology, 4*(9), e11463. https://doi.org/10.7717/peerj.11463
38. Najafi, N., & Mardomi, S. (2013). Effect of sunflower, livestock manure and sewage sludge on the availability of elements, pH and EC of an alkaline soil. *Applied Soil Research, 1*(1), 1-16. (In Persian with English abstract)
39. Najafi, N., & Parsazadeh, M. (2011). The effect of nitrogen forms and pH of nutrient solutions on EC and pH changes in spinach rhizosphere in hydroponic cultivation. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Crops, 2*(59), 29-44. (In Persian with English abstract)
40. Oraee, A., & Tehranifar, A. (2020). Evaluating the potential drought tolerance of pansy through its physiological and biochemical responses to drought and recovery periods. *Scientia Horticulturae, 265*, 109225. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109225
41. Ors, S., Ekinci, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, *137*, 335-339. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.031
42. Pakravan, M., & Ghahreman, A. (2003). Some new combinations and synonyms in *Alcea* (Malvaceae) from Iran. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, *104*(B), 713-716.
43. Peng, J., Feng, Y., Wang, X., Li, J., Xu, G., Phonenasy, S., Luo, Q., Han, Z., & Lu, W. (2021). Effects of nitrogen application rate on the photosynthetic pigment, leaf fluorescence characteristics, and yield of indica hybrid rice and their interrelations. *Science Report, 11*, 7485. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86858-z
44. Rafie Rad, Z., Dordipour, E., & Tajvar, Y. (2016). Evaluation of low temperature tolerance indices in seedlings of Citrus aurantium under potassium nitrate nutrition. *Journal of Plant Physiology, 7*(2), 2007-2015.
45. Razaq, M., Zhang, P., Shen, H.L., & Salahuddinn. (2017). Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morophology *Acer* mono. *Plos One*, *12*(2), 1-13.
46. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., & Vive kanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *161*(11), 1189-1202. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013
47. Saud, S., Fahad, S., Cui, G., Yajun, C., & Anwar, S. (2020). Determining nitrogen isotopes discrimination under drought stress on enzymatic activities, nitrogen isotope abundance and water contents of Kentucky bluegrass. *Scientific Reports, 10*(1), 1-16.
48. Shajim, H., Chandranm, V., & Mathew, L. (2021). Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture. *Academic Press,* 231–245. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3
49. Tarahomi, G., Lahoty, E., & Abasi, F. (2010). Investigation of the effects of drought stress on changes in soluble sugars, rate chlorophyll and potassium in *Salvia leriifolia* Benth. *Journal of Animal Physiology and Development, 3*(3), 1-7.
50. Teixeira Filho, M.C.M., Buzetti, S., Andeotti, M., Arf, O., & DeSa, M.E. (2011). Application times, sources and doses of nitrogen on wheat cultivars under no till in the Cerrado region. *Ciência Rural*, *41*(8), 1375-1382.
51. Turner, N.C. (2018). Turgor maintenance by osmotic adjustment – 40 years of progress. *Journal of Experimental Boany 69*(13), 3223-3233. https://doi.org/10.1093/jxb/ery181
52. Wang M., Zheng Q., Shen Q., & Guo S. (2013_. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences, 14*(4), 7370-7390.
53. Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drough, salinity and extreme temperature: Toward genetic engineering for stress tolerance. *Planta, 218*, 1-14. https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5
54. Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., Zhu, Z., Ge, S., & Jiang, Y. (2020). Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiersz in Plant Science*, *11*, 904. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904